Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Untersuchungen von Sehschärfeherabsetzungen verschiedener Genese bei Änderung des Kontrastes und der Umfeldleuchtdichte

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Dieter Burkhard
aus Friedrichshafen

1971

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Untersuchungen von Sehschärfeherabsetzungen verschiedener Genese bei Änderung des Kontrastes und der Umfeldleuchtdichte

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Dieter Burkhard
aus Friedrichshafen

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. Dr. K. Mayer

Berichterstatter: Professor Dr. E. Aulhorn

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG • Tübingen

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

I.Einleitung 1

II.Methodik 2

1. Auswahl der Patienten 2
2. Auswahl des Sehzeichens 4
3. Auswahl der Leuchtdichte-und Kontrastbedingungen 5
4. Methodik der Darbietung verschiedener Kontraste 9
5. Untersuchungsgang 12

III.Darstellung der Ergebnisse 13

1. emmetrope gesunde Augen 13
2. nicht emmetrope gesunde Augen 15
   a. Refraktionsfehler c.c. und s.c. 16
   b. Amblyopie 17
   c. Hornhauttrübungen 17
   d. Linsentrübungen 17
   e. Glaukom 18
3. emmetrope gesunde Augen mit medikamentöser Miosis und mit Lochblenden 18
   a. emmetrope gesunde Augen mit medikamentöser Miosis 19
   b. emmetrope gesunde Augen mit Lochblenden 19

IV. Besprechung der Ergebnisse 19

1. Verhalten der Sehschärfe bei Kontraständerung 19
2. Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Sehschärfe 27
3. Schlußfolgerungen 30

V. Zusammenfassung 32

VI.Abbildungen 34

VII.Literaturverzeichnis 45

VIII.Lebenslauf 49

I.Einleitung

Bei den heute üblichen Methoden der klinischen Sehschärfeprüfung werden den Patienten die Sehzeichen unter möglichst optimalen Bedingungen angeboten, um das maximale Auflösungsvermögen der Augen zu bestimmen.Unter optimalen Bedingungen verstehen wir eine hohe Grundleuchtdichte des Testfeldes bei möglichst geringer Leuchtdichte des Prüfzeichens. Es werden somit große Leuchtdichteunterschiede zwischen Optotype und Untergrund dargeboten. Bei geringen Umfeldleuchtdichten oder geringen Kontrasten resultiert ein mehr oder weniger herabgesetztes Sehvermögen (KÖNIG,A.1897; FERREE,C.E. und G.RAND 1925 ; CONNER,J.P. und R.E.GANOUNG 1935 ; ROELOFS,C.O. und L.BIERENS DE HAAN 1923; HIRISAWA,E.1938; SIEDENTOPF,H.1941; TONNER,DR.1943; AULHORN,E.1961 und 1964). Die klinische Sehschärfeprüfung dient sowohl der Bestimmung und Korrektur von Refraktionsanomalien wie auch der Feststellung der optimalen Sehschärfefunktion (cum correctione) eines Patienten. Diese Prüfung ist auch zur Überwachung eines Krankheitsverlaufes oder zur Kontrolle des Therapieerfolges in Gebrauch.

Schon aus den Klagen der Patienten weiß der Augenarzt, dass verschiedene Beleuchtungs-und Kontrastbedingungen die Sehschärfe in unterschiedlicher Weise beeinflussen können. Patienten mit Trübungen der brechenden Medien klagen häufig über erhebliche Verschlechterung des Sehens bei schwacher Beleuchtung. Andere wiederum klagen über Blendungserscheinungen bei hohen Leuchtdichten , während das Sehen bei geringer Beleuchtung völlig normal sei. Über das Verhalten erkrankter Augen bei geringer Beleuchtung des Umfeldes gibt es bisher wenige Untersuchungen (VAN BEUNINGEN,E.1944; VON NOORDEN,G.K. und H.M.BURIAN 1958).

Alle Augenerkrankungen, die die Funktion der Foveolae beeinträchtigen, bringen eine Sehschärfeherabsetzung mit sich. Aus der Tatsache der Sehschärfeherabsetzung und deren Grad lassen sich keine differentialdiagnostischen Schlüsse ziehen. Nun ist es aber möglich, die Funktionsprüfung nicht nur unter optimalen Leuchtdichtebedingungen sondern zusätzlich unter veränderten Leuchtdichte-und Kontrastbedingungen durchzuführen.Ein solcher Untersuchungsgang könnte bei verschiedenen Augenerkrankungen ein unterschiedliches Verhalten der Sehschärfeverminderung zutage bringen. Er könnte also differentialdiagnostische Bedeutung haben.

Ziel dieser Untersuchung ist es deshalb festzustellen, ob das Verhalten der Sehschärfeherabsetzung bei verschiedenartigen Kontrasten oder Leuchtdichten bei verschiedenen Erkrankungen des Auges typische Unterschiede zeigt.

II.Methodik

1. Auswahl der Patienten

Für unsere Fragestellung war es notwendig,möglichst viele verschiedene Augenerkrankungen zu erfassen und von jeder Augenerkrankung eine möglichst große Anzahl von Patienten zu untersuchen. Unsere Versuchspersonen bekamen wir von den Stationen und aus der Poliklinik der Universitäts-Augenklinik.

Die Auswahl geeigneter Patienten erwies sich als recht schwierig. Hier spielten mehrere beschränkende Faktoren eine Rolle. So haben bei vielen Patienten gleichzeitig mehrere Erkrankungen des Auges Einfluss auf die Sehherabsetzung.Solche Patienten mußten wir von unseren

Untersuchungen ausschliessen. Wir versuchten möglichst Patienten mit nur einer genau definierten Augenerkrankung zu bekommen, um so das Verhalten der Sehschärfe bei ebendieser Augenerkrankung während der Prüfung mit verschiedenen Kontrasten und Umfeldern festzustellen.

Weiterhin mußten wir von unseren Patienten einen gewissen Intelligenzgrad verlangen, da die Bezeichnung der verschiedenen Stellungen der Ringlücke des Landoltringes nicht ganz einfach ist. Wir verzichteten deshalb auf die Untersuchung von Kindern unter 10 Jahren.

Durch die mehrmalige Funktionsprüfung unter veränderten Bedingungen wurde die Untersuchung für die Patienten anstrengend und zeitraubend. Nur gutwillige und konzentrationsfähige Patienten machten ausreichend genaue Angaben. Somit waren auch viele ältere Kranke als Versuchspersonen nicht geeignet.

Augen mit einem nicht auskorrigierten oder nicht ideal korrigierbarem Astigmatismus konnten auch nicht untersucht werden, da eine Prüfung mit Landoltringen bei dieser Refraktionsanomalie unterschiedliche Ergebnisse bei verschiedenen Lückenstellungen ergibt. Bei allen von uns untersuchten Patienten war die Sehschärfe vor unserer Untersuchung unter den üblichen Bedingungen geprüft und eine etwaig notwendige Korrektur bestimmt worden.

Leider sind nicht alle Untersuchungen bei beiden Umfeldern durchgeführt worden, da im ursprünglichen Plan nur Untersuchungen bei veränderten Kontrasten und einer Umfeldleuchtdichte von 100 asb vorgesehen waren. Erst als sich zeigte, daß bei diesem Umfeld die Kontrastveränderung allein kein unterschiedliches Verhalten der Sehschärfeherabsetzung bei unterschiedlichen Erkrankungen erkennen ließ, wurde zusätzlich bei der Umfeldleuchtdichte von 1 asb untersucht. Dieses ließ sich aber nicht bei allen Patienten durchführen, da eine Untersuchung bei zwei Um-

feldern mit jeweils drei Kontrasten insgesamt sechs Funktionsprüfungen umfaßte, was für viele Patienten zu anstrengend war. Wir sind deshalb notgedrungen so vorgegangen, daß wir von der gleichen Erkrankungsgruppe einen Teil bei hellem und einen Teil bei dunklerem Umfeld untersuchten. Die Verteilung ist aus Abb.1 zu ersehen.

Gesamtzahl der Untersuchungen	325 (53)
davon bei 100 asb	218 (34)
davon bei 1 asb	107 (19)
davon bei beiden Umfeldern	51 (11)

Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die Anzahl der untersuchten emmetropen gesunden Augen an und sind in den Gesamtzahlen enthalten.

2. Auswahl der Sehzeichen

Bei der klinischen Sehschärfeprüfung sind verschiedenartige dunkle Sehzeichen in Gebrauch. Neben Zahlen und Buchstaben werden auch seltener Snellenhaken, Pflügersche Haken und Landoltringe benutzt. Da wir eine der klinischen Funktionsprüfung ähnliche Bestimmung durchführen wollten, wählten wir für unsere Untersuchungen das Sehzeichen aus diesen klinisch gebräuchlichen Optotypen aus.

Bei der Verwendung von Projektoren sind für jeden Sehschärfewert Diapositive von entsprechender Sehzeichengröße notwendig. Für die bei unseren Untersuchungen vorkommenden Sehschärfedifferenzen waren bei logarithmischer Progression der Größen 14 unterschiedliche Sehzeichen erforderlich.

Bei der Benutzung von Buchstaben oder Zahlen hätten wir für jeden Sehschärfewert mindestens vier verschiedene Optotypen benötigt, um eine Sehschärfeprüfung durchführen zu können. Das hätte die Anzahl der Diapositive auf 56 erhöht und wäre mit einem erheblichen Aufwand an Material und Zeit verbunden gewesen. Außerdem sind Zahlen und Buchstaben bei wissenschaftlichen Untersuchungen ohnehin als Optotypen ungünstig, da die einzelnen Zeichen einer Größe nicht völlig gleichen Sehschärfewert haben.

Sowohl Snellen- wie Pflügerhaken, wie Landoltringe haben diesen Nachteil nicht. Sie können in vier oder acht verschiedenen Stellungen dargeboten werden, wobei jede Stellung nahezu gleichen Sehschärfewert hat. Von diesen drei Zeichen wählten wir den Landoltring, weil er am wenigsten das Untersuchungsergebnis bei eventuell noch vorhandenem nicht auskorrigierbarem geringfügigem Astigmatismus verändert, während die geraden Balken der Snellen- und Pflügerhaken stärker durch einen Astigmatismus beeinflußt werden.

Von einigen Autoren wird auch bei der Darbietung von Landoltringen ein unterschiedlicher Sehschärfewert beschrieben, wenn sie in schrägen oder geraden Richtungen angeboten werden (SCHOBER,H.1957). Diese Differenz ist aber gemessen an dem unterschiedlichen Sehschärfewert bei Zahlen und Buchstaben sehr gering. Wir nahmen diesen kleinen Fehler in Kauf, um dadurch mit acht Stellungen der Ringlücke eine größere Anzahl von Verwechslungsmöglichkeiten zu erhalten. Von den Patienten verlangten wir vier aufeinanderfolgende richtige Antworten, um die nötige hohe Sicherheit der Ergebnisse gewährleistet zu haben (AULHORN,E.1964). Bei nur vier Verwechslungsmöglichkeiten, lediglich horizontale und vertikale Stellungen der Ringlücke, hätte die Anzahl der

geforderten richtigen Antworten und damit die Anzahl der Darbietungen erhöht werden müssen, um die gleiche Sicherheit der Ergebnisse zu erhalten. Die Ansprüche an die Konzentrationsfähigkeit und Ausdauer der Patienten wären dadurch erheblich gestiegen, was wiederum eine größere Fehlerquelle bedeutet hätte.

Der Landoltring wurde in Größenstufen angeboten, deren Progressionsfaktor dem Wert von 1/10 logarithmischer Dekade entspricht. Dieses ist die günstigste Abstufung der Sehzeichen bei der Untersuchung ungeübter Personen (DREYER,V.1964). Geringere Größenunterschiede lassen nur bei der Prüfung geübter Versuchspersonen ein genaueres Ergebnis erwarten. Diese Einteilung ergibt eine Sehschärfedifferenz von 20% zwischen zwei benachbarten Sehschärfestufen.

Auf fünf Meter Entfernung entsprach unser kleinster Landoltring einer Sehschärfe von 1,6 und unser größtes Sehzeichen einem Wert von 0,079, während das Testfeld einen Durchmesser von 4° 21' aufwies. Wenn in seltenen Fällen die Sehschärfe des Patienten unter 0,079 absank, konnte die notwendige Optotypengröße nicht mehr durch größere Diapositive erreicht werden. In diesen Fällen wurde der Abstand zwischen Auge und Testschirm auf vier oder sogar auf zwei Meter verringert. Die erreichten minimalen Sehschärfewerte betrugen dann 0,063 bzw. 0,032, während der Testfelddurchmesser auf 5° 27' bzw.10° 54' anstieg. Eine durch die relative Testfeldvergrößerung mögliche Pupillenänderung konnte nicht festgestellt werden.

3. Auswahl der Leuchtdichte- und Kontrastbedingungen

Bei der Sehschärfeprüfung haben außer der Leuchtdichte von Sehzeichen und Untergrund noch viele verschiedene Faktoren einen Einfluß auf den ermittelten

Sehschärfewert. Neben den verschiedenen Formen der Optotypen, ihrer Darbietungszeit, ihrer Darbietungsart - ruhend oder sich bewegend - ist noch die Beleuchtung des Untersuchungsraumes entscheidend. Alle diese Variablen wurden bei unserer Untersuchung konstant gehalten.

Geändert wurden ausschliesslich die Leucht - dichten von Prüfzeichen und Umfeld. Diese Leucht - dichteänderungen können grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

1.) Änderung des relativen Unterschiedes der Prüfzeichenleuchtdichte allein, d.h. also Änderung des KONTRASTES zwischen Prüfzeichen und Umfeld. Man kann die Größe des Kontrastes auf verschiedene Weise kennzeichnen. Wir haben die Leuchtdichte des Sehzeichens zur Umfeldleuchtdichte in Beziehung gesetzt, wobei letztere gleich 1 war oder aber gaben die Sehzeichenleuchtdichte in % der Umfeldleuchtdichte an.

2.) Änderung der Umfeldleuchtdichte und der Prüfzeichenleuchtdichte auf die Weise, dass der Kontrast gleich blieb, so daß man allein den Adaptationszustand variiert bei dem die Prüfung erfolgt.

In der Literatur finden wir keine Sehschärfekurven, die nur bei Änderung der Umfeldleuchtdichte ohne Änderung des Kontrastes bestimmt sind. Dagegen kennen wir eine große Anzahl von Kurven, die durch Kontraständerung gewonnen wurden (KÖNIG,A. und E. BROHUN 1888 und 1889; AULHORN,E.,H.HARMS und M.RAABE 1966).

Für unsere Fragestellung interessierten sowohl die Ergebnisse der Sehschärfeprüfung bei Änderung der Leuchtdichte nach 1. und 2. Es galt nun auszuwählen, welche Umfeldleuchtdichten und welche Kontraste für unsere Untersuchungen günstig waren. Die Leuchtdichten der bei den klinischen Funktionsprüfungen häufig benutzten Idem-Visus-Projektoren liegen zwischen 320 und 720 asb, die der Papptafeln liegen je nach Beleuchtung zwischen 40 und 400 asb. Bei einer Leuchtdichte von 100 asb, was etwa der Raumbeleuchtung bei Tageslicht entspricht, haben emmetrope Augen noch volle Sehschärfe. Eine zentrale Funktionsminderung kann bei dieser Leuchtdichte nur durch Verringerung der Kontraste erzeugt werden. Bei mäßiger künstlicher Raumbeleuchtung finden wir Werte von etwa 1 asb, wobei die Sehschärfe physiologischerweise schon spürbar herabgesetzt ist. Deshalb untersuchten wir bei den Umfeldleuchtdichten von 100 und 1 asb. Sie sind absichtlich aus dem Bereich des photopischen Sehens gewählt, da wir die Verhältnisse des Dämmerungssehens nicht in unsere Untersuchungen mit einbeziehen wollten.

Aus den Abb.2 und 3 ist zu ersehen, daß bei Verringerung des Kontrastes schon unter physiologischen Bedingungen eine Sehschärfeherabsetzung eintritt. Wir wählten drei Kontraste aus, von denen der eine optimale Bedingungen ergibt, der zweite im Bereich des Kurvenabfalls liegt und der dritte schon eine starke physiologische zentrale Funktionsminderung mit sich bringt.

Unser Untersuchungsgang wurde bei Umfeldern von 100 und 1 asb und Kontrasten von jeweils 3,2% (I), 34% (II) und 80% (III) durchgeführt. Dabei hatten die Sehzeichen Leuchtdichten von 3,2 bzw. 0,032 asb (I), 34 bzw.0,34 asb (II) und 80 bzw.0,80 asb (III).

Die Kontrollen der Umfeldleuchtdichten wurden mit einem photometrischen Leuchtdichtemesser nach BECHSTEIN (Fa.Schmid-Haensch) vorgenommen. Nach anfänglich häufigeren Kontrollen schränkten wir diese auf eine täglich ein, denn die Leuchtdichte des Testfeldes änderte sich während eines Tages nur unwesentlich.

4. Methodik der Darbietung verschiedener Kontraste.

Die meisten Autoren, die die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Leuchtdichte untersuchten, benutzten verschieden hell beleuchtete Sehprobentafeln. Bei dieser Methode bleibt der Kontrast immer gleich. Unser Bestreben war es, Untersuchungen bei verschiedenen Umfeldern und unterschiedlichen Kontrasten durchzuführen. Dazu mußten wir eine etwas kompliziertere Methode anwenden. Die einfachste Änderung des Kontrastes bei gleichbleibendem Umfeld geschieht mit Schablonen, deren Ausschnitte die Form der gewünschten Sehzeichen haben. Dabei kann dann eine in Blickrichtung hinter der Schablone liegende Fläche , die für die Versuchsperson im Schablonenausschnitt sichtbar wird, anders beleuchtet werden als die Schablonenfläche selbst, so daß jeder beliebige Kontrast hergestellt werden kann.

Bei der Benutzung eines Landoltringes, der seine Lage bei der Prüfung ändern muß, und bei der Benutzung sehr vieler verschiedener Ringgrößen ist die Arbeit mit Schablonen aber äußerst umständlich und langwierig. Deshalb wählten wir eine Methode, die von E.AULHORN erstmalig für die Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Lichtsinn und Sehschärfe verwandt wurde (AULHORN,E. 1964) und die der Kontraständerung im Mesoptometer , einem Gerät zur Prüfung des Dämmerungs-

sehens, zugrunde liegt (AULHORN,E. und E.HARMS 1964). Hierbei werden Sehzeichen und Untergrund durch zwei Projektoren auf einen Testschirm projiziert.
Die Herstellung der verschiedenen Kontraste geschieht nun auf folgende Weise (siehe Abb.4):

In den Strahlengang von einem der beiden Projektoren (Pr.I) wird ein Diapositiv (D) mit dem Bild des Landoltringes gebracht, sodaß das Bild dieses Projektors einen schwarzen Landoltring mit umgebendem hellem Feld ergibt.Der Strahlengang des anderen Projektors (Pr.II) wird durch kein Diapositiv unterbrochen, sodaß sein Bild eine homogene helle Fläche auf dem Projektionsschirm ergibt. Die Bilder beider Projektoren werden so auf den Testschirm projiziert,daß sie sich decken.Dann ist die Leuchtdichte des Landoltringes allein durch die Leuchtdichte des von Pr.II entworfenen Bildes gegeben, die Leuchtdichte in der Umgebung und im Innern des Landoltringes durch die Addition der Leuchtdichten von Pr.I und Pr.II. Durch Zwischenschaltung von Graufiltern (F) verschiedenen Absorptionsvermögens kann man nun jeden beliebigen Kontrast bei gleichbleibendem Umfeld erreichen. Damit sich die Leuchtdichte des Umfeldes bei der Leuchtdichteänderung des Landoltringes nicht ebenfalls ändert, ist es notwendig die Leuchtdichte des Pr.I so zu wählen, daß sie die Leuchtdichte des Pr.II jeweils wieder zu der gleichen Umfeldleuchtdichte ergänzt.

Um z.B. die Kontraste 100 : 0, 100: 32, und 100:79 zu erreichen, müssen die Leuchtdichten der beiden Projektoren demnach folgendermassen gewählt werden:

Pr.I	Pr.II	Landoltring	Umfeld
100	0	0	100
68	32	32	100
21	79	79	100

Tatsächlich erreicht man es nie, daß der Landoltring auf der Projektionswand 0 asb hat, sondern hier liegt immer ein bestimmtes Maß an Streulicht von dem Licht des Projektors I vor, welches jedoch rechnerisch leicht berücksichtigt werden kann, da es immer einen bestimmten Prozentsatz des Projektorlichtes hat. Da das Streulicht im Bereich des vom Projektionslicht ausgesparten Landoltringes jeweils 3,2% der Leuchtdichte des projizierten Feldes beträgt, ergeben sich für die von uns gewählten Kontraste folgende Leuchtdichten:

Umfeld-leucht-dichte	Leucht-dichte Pr.I	Leucht-dichte Pr.II	Leucht-dichte Opto-type	Kontrast in %	Kontrast rel.Ld untersch.	Kontrast stufe
100asb	100	-	3,2	3,2	1:0,032	I
100asb	68	32	34	34	1:0,34	II
100asb	21	79	80	80	1:0,80	III
lasb	1,0	-	0,032	3,2	1:0,032	I
lasb	0,68	0,32	0,34	34	1:0,34	II
lasb	0,21	0,79	0,80	80	1:0,80	III

Das Umfeld von lasb erreichen wir durch Vorschalten von gleichwertigen Filtern vor beide Projektoren.

5. Untersuchungsgang

Die Versuchsperson saß in 5 m Entfernung vom Testschirm, wobei der Kopf durch eine Kinnstütze und ein Stirnband fixiert wurde. Beiderseits der Blickrichtung standen die beiden Projektoren, die durch Verdecken mit schwarzen Tüchern gegen die Versuchsperson abgeschirmt waren. Die Diapositivbühne des Pr.I hatte zwei Öffnungen gleicher Größe, in denen drehbare Halterungen für die Diapositive angebracht waren. Zur Veränderung der Stellung der Ringlücke des Landoltringes wurde das Diapositiv aus dem Strahlengang herausgezogen, während dessen durch die zweite Öffnung in der Bühne der Leuchtdichteanteil des Projektors weiterhin geliefert wurde. So wurde das Auge des Patienten in seinem Adaptationszustand nicht verändert. Nach der Einstellung der gewünschten Richtung der Ringlücke wurde der Landoltring wieder in den Strahlengang des Projektors geschoben.

Bei Beginn der Untersuchung wurde ein großes kontrastreiches Sehzeichen mit dem Umfeld projiziert, bei dem der Patient untersucht werden sollte. Dabei wurde mit ihm die Bezeichnung der acht verschiedenen Stellungen der Ringlücke abgesprochen. Vorher bekam er ein Probierbrillengestell mit der notwendigen Korrektur vorgesetzt. Nach einer ausreichenden Übungszeit, je nach Intelligenzgrad bis zu 6 Minuten, setzten wir vor das nicht zu untersuchende Auge eine schwarze Scheibe, um die eigentliche Untersuchung monocular durchführen zu können.

War eine Untersuchung bei beiden Umfeldern vorgesehen, begannen wir immer mit dem Umfeld von 100 asb. Zuerst zeigten wir dem Patienten Sehzeichen von geringem Sehschärfewert bei stärkstem Kontrast. Bei vier aufeinanderfolgenden richtigen Antworten wurde das nächst kleinere Sehzeichen angeboten bis das maximale Auflösungsver -

mögen erreicht war. Ebenso verfuhren wir dann bei mittlerem und schwächstem Kontrast.

Danach wurde die Umfeldleuchtdichte auf 1 asb verringert. Wir ließen den Patienten wiederum etwa fünf Minuten adaptieren, um dann den Untersuchungsgang wie beschrieben zu wiederholen. Die Untersuchung eines Auges bei einem Umfeld dauerte etwa zwanzig Minuten.

III. Darstellung der Ergebnisse

Zur Darstellung der Untersuchungsergebnisse wählten wir die Form einer Kurve. Die Ordinate ist in Sehschärfestufen von 1/10 logarithmischer Dekade eingeteilt, die Abscisse zeigt die relative Leuchtdichte des Sehzeichens zum Umfeld. Unsere Meßpunkte liegen bei den Kontraststufen 1: 0,032; 1:0,34 und 1:0,80 bei beiden Testfeldleuchtdichten. Letztere erscheint in der Kurve als Parameter. Der Kurvenverlauf ist gegeben durch die Mittelwerte der Funktionsergebnisse bei den drei Kontrasten. Für jeden der drei Punkte errechneten wir die mittlere quadratische Abweichung der Einzelwerte, die in jedem Meßpunkt durch die senkrechten Striche gekennzeichnet ist (1 s).

1. Emmetrope gesunde Augen

Von den insgesamt 325 Untersuchungen wurden 218 bei 100 asb und 107 bei 1 asb Umfeldleuchtdichte durchgeführt (siehe Abb.1). Davon waren 34 bzw. 19 Untersuchungen an emmetropen gesunden Augen vorgenommen worden. Aus den schon erwähnten Gründen konnten nicht alle Patienten bei beiden Umfeldern geprüft werden, weshalb nur von 11 gesunden Augen die Ergebnisse bei beiden

Umfeldleuchtdichten vorliegen. In Abb.5 a sind sie dargestellt.

Die Auswertung der 19 emmetropen gesunden Augen, von denen 11 bei 100 asb und 8 andere bei 1 asb untersucht wurden, zeigt Abb.5 b. Zum besseren Vergleich sind in Abb.5 c die Kurven aus 5a und 5b im gleichen Koordinatensystem eingezeichnet. Diese Zusammenstellung der Kurven soll die Frage beantworten, ob wir berechtigt sind, die Ergebnisse von Versuchspersonen, die bei b e i d e n Umfeldern geprüft wurden, mit denen von Versuchspersonen, die jeweils nur bei e i n e m der beiden Umfelder untersucht wurden, zu vergleichen.

Das Ergebnis dieses Vergleichs zeigt, daß die Kurven nahezu parallel verlaufen, aber nicht ganz in gleicher Höhe liegen. Der geringfügige Unterschied in der Höhenlage ist dadurch zu erklären, daß unsere Versuchspersonen nicht alle die gleiche maximale zentrale Funktion hatten. Durch die ungleichmässige Verteilung auf die beiden Untersuchungsgruppen der Abb.5 a und 5 b sind die unterschiedlichen Mittelwerte bei hohem Kontrast bedingt. Die Unterschiede im Verlauf der gezeigten Kurven liegen aber innerhalb der Streuung von 1 s der Einzelkurven, sodaß man wohl berechtigt ist, von dem Ergebnis der Untersuchung einer Personengruppe bei einem anderen Umfeld auf den Einfluß der Umfeldleuchtdichte bei einer gleichen Population zu schließen. Dieses Ergebnis erlaubt uns später bei der Untersuchung kranker Augen die Ergebnisse bei 100 asb und 1 asb Umfeldleuchtdichte zu einander in Beziehung zu setzen, obwohl nicht alle Patienten bei beiden Leuchtdichten geprüft wurden.

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu untersuchen, wurden vier Versuchspersonen an vier verschiedenen Tagen unter gleichen Bedingungen geprüft. Das beste und das schlechteste Ergebnis dieser Serie zeigt Abb.6.

2. nicht emmetrope gesunde Augen

Abb.7 zeigt die Mittelwertskurven aller erkrankter Augen sowie der Augen mit Refraktionsfehlern cum correctione (c.c.) und sine correctione (s.c.) . Von den 272 Untersuchungen wurden 184 bei hellem und 88 bei dunklerem Umfeld durchgeführt. Zum besseren Vergleich wurden die Normalkurven aus Abb.5 a als gebrochene Kurven mit eingezeichnet, wie es auch bei allen weiteren Zeichnungen der Fall sein wird .

Schon beim Vergleich der Kurven aus Abb.5a und 5 b wurde darauf hingewiesen, daß nicht der absolute Abstand der Kurven voneinander sondern nur die mehr oder weniger ausgeprägte Parallelität der beiden Kurven eine Aussage zuläßt. In Abb.7 wird besonders deutlich, daß der Mittelwert der bei stärkstem Kontrast ermittelten maximalen zentralen Funktion bei den emmetropen gesunden Augen aus Werten von 1,0 und darüber entstand, während sich der Mittelwert aller erkrankten Augen und der Augen mit Refraktionsfehlern aus Werten unter 1,0 bis minimal 0,1 zusammensetzte. Die Ausgangslage der Kurve ist demnach von der zufälligen Zusammensetzung der zu untersuchenden Gruppe im Hinblick auf die Sehschärfe abhängig, während der Verlauf der Kurve nur den Einfluß der Umfeld- und bzw, oder Kontraständerung dargestellt. Diese Einschränkung gilt für alle folgenden Kurven, soweit nicht Gruppen gleicher Population verglichen werden.

Der Verlauf der Kurven in Abb.7 läßt keinen deutlichen Unterschied gegenüber dem Verhalten emmetroper gesunder Augen erkennen, aber die hohen Werte der mittleren quadratischen Abweichung der Einzelwerte zeigen, daß sich nicht alle erkrankten Augen bei der Untersuchung gleich verhielten.Deshalb wollen wir für jede Augenerkrankung und für jeden Refraktionsfehler die Ergebnisse einzeln betrachten.

a. Refraktionsfehler c.c. und s.c.

In Abb.8 sind alle Ergebnisse von 69 Augen mit Refraktionsfehlern c.c. dargestellt. Alle untersuchten Patienten mit Ausnahme derjenigen mit hohen Myopien hatte bei klinischer Funktionsprüfung mindestens 1,0 erreicht. Abb.8 a zeigt die Ergebnisse von 14 Hyperopien c.c. bei 100 asb und 12 Hyperopien c.c. bei 1 asb. Das Verhalten von 21 Myopien c.c. bei hellem Umfeld und 10 Myopien c.c. bei dunklerem Umfeld ist aus Abb.8 b ersichtlich. Das Verhalten von 12 Augen mit hohen Myopien ab 10 dptr wurde nur bei einem Umfeld von 100 asb geprüft.Die Ergebnisse sind in Abb.8 c zusammengefaßt.

Insgesamt untersuchten wir 40 n i c h t auskorrigierte Augen mit Refraktionsfehlern. Mit entsprechender Korrektur erreichten alle die Sehschärfe von mindestens 1,0. Falls ein Astigmatismus vorhanden war, wurde dieser durch entsprechende Gläser ausgeglichen, so daß dem Untersuchungsergebnis nur sphärische Refraktionsfehler zugrunde liegen. Aus zeichnerischen Gründen konnten wir die Untersuchungsergebnisse bei beiden Umfeldern nicht in einem einzigen Koordinatensystem darstellen. So zeigen Abb. 9 a und 9 b das Verhalten von 12 Hyperopien s.c. bei 1 asb. In Abb.9 c und 9 d sind die Ergebnisse der Untersuchung von 13 Augen mit Myopie s.c. bei hellem und 8 Augen mit Myopie s.c. bei dunklem Umfeld zusammengefaßt.

Um den Einfluß der Refraktionsfehler bei einer einzelnen emmetropen gesunden Versuchsperson zu studieren, myopisierten wir fünf emmetrope Augen mit Convexgläsern steigend in Abständen von 0,25 dptr .Die Ergebnisse dieser Untersuchungsserie sind in Abb.10 dargestellt.

b.Amblyopie

Leider hatten wir nur 7 Patienten mit Amblyopie in unserem Krankengut. Wie schon oben beschrieben, konnten wir Kinder bis zu 10 Jahren nicht untersuchen, wodurch uns der größte Teil der Patienten mit Amblyopie verloren ging. Die Untersuchung bei beiden Umfeldleuchtdichten war leider nur bei zwei Patienten möglich, da bei den anderen die Sehschärfe zu gering war und so die Ergebnisse die Prüfung mit geringen Kontrasten bei 1 asb Umfeldleuchtdichte außerhalb unseres Prüfbereiches lagen. Deshalb konnten wir in Abb.11 a und 11 b lediglich die Ergebnisse der Untersuchung von fünf Patienten bei 100 asb und zwei Patienten bei 1 asb Umfeldleuchtdichte auswerten .

c. Hornhauttrübungen

Die in Abb.12 dargestellten Ergebnisse bei fünf Augen mit Hornhauttrübungen mußten leider aus den gleichen wie bei der Amblyopie erwähnten Gründen auf 100 asb Umfeldleuchtdichte beschränkt bleiben.

d. Linsentrübungen

In Abb.13 a sind alle Ergebnisse von 38 Augen mit Linsentrübungen , die bei 100 asb untersucht wurden, zusammengefaßt, wogegen Abb.13 b die Ergebnisse von 14 Augen mit Linsentrübungen bei 1 asb zeigt. Zum besseren Vergleich des Verlaufs sind in Abb.13 c die bei beiden Umfeldleuchtdichten gewonnenen Kurven dargestellt. Die beiden Ordinaten wurden so gegeneinander verschoben, daß beide Kurven bei stärkstem Kontrast den gleichen Ausgangspunkt erhielten.

e. Glaukom

Für diese Untersuchungen standen uns 40 an Glaukom erkrankte Augen zur Verfügung, wovon 28 bei 100 asb und 12 bei 1 asb Umfeldleuchtdichte untersucht wurden. Da sich im Ergebnis sehr deutlich ein Einfluß der beim behandelten Glaukom meist sehr engen Pupille zeigt, haben wir bei der Darstellung die Ergebnisse der glaukomkranken Augen mit engen Pupillen von den Ergebnissen der glaukomkranken Augen mit normal weiten Pupillen getrennt. Abb.14 a zeigt das Verhalten 11 glaukomkranker Augen mit Pupillenweiten über 2,5 mm bei 100 asb und Abb.14 b das Verhalten von fünf an Glaukom erkrankten Augen bei 1 asb Umfeldleuchtdichte. In Abb.15 a sind die Ergebnisse von 17 glaukomkranken Augen mit Miosis, Pupillenweite bis 2,5 mm, bei 100 asb und in Abb.15 b die Ergebnisse von sieben glaukom - kranken Augen mit Miosis bei 1 asb aufgezeichnet.

3. emmetrope gesunde Augen mit medikamentöser Miosis und mit Lochblenden

a. emmetrope gesunde Augen mit medikamentöser Miosis

Um den Einfluß der Pupillenweite isoliert erfassen zu können, untersuchten wir 18 gesunde emmetrope Augen mit medikamentöser Miosis, die wir mit Behandlung von Pilocarpin 1 - 2% erreichten. Alle Versuchspersonen waren 50 Jahre und älter , denn ein Einfluß des Miotikums auf Akkommodation und damit auf die Refraktion sollte ausgeschlossen werden. Es wurden nur Augen mit Pupillenweiten bis 2,5 mm untersucht.In Abb.16 sind die Ergebnisse von je neun Augen bei hellem und dunklerem Umfeld zusammengefaßt.

b. emmetrope gesunde Augen mit Lochblenden

Da in der Literatur des öfteren von Untersuchungen bei Versuchspersonen berichtet wird, bei denen der Einfluß enger Pupillen auf die Sehschärfe durch Benutzung von Lochblenden nachgeahmt wurde, haben auch wir an drei emmetropen gesunden Augen den Einfluß verschieden großer Lochblenden geprüft. Dazu wurden geübte Versuchspersonen herangezogen, die bei beiden Umfeldleuchtdichten geprüft wurden. In Abb.17 sind die Ergebnisse dargestellt.

IV. Besprechung der Ergebnisse

1. Verhalten der Sehschärfe bei Kontraständerung

Aus den Kurven läßt sich entnehmen, daß sowohl eine Verringerung des Kontrastes als auch eine Verminderung der Leuchtdichte des Umfeldes schon bei gesunden Augen Einfluß auf die Sehschärfe haben. Für uns aber war von Interesse zu wissen, ob sich bei Verminderung von Leuchtdichte und Kontrast k r a n k e Augen anders verhalten und wenn dieses zutrifft, ob das Ausmaß der Sehschärfeänderung krankheitsspezifisch ist. Theoretisch gibt es folgende Möglichkeiten der Sehschärfeänderung bei Kranken, sie könnte kleiner oder größer sein als die gesunder Augen oder sich nicht von ihr unterscheiden. Wir werden sehen, daß alle drei Möglichkeiten vorkommen.

Da die bisherige Darstellungsart eine quantitative Aussage über den Einfluß der Umfeldleuchtdichte nicht zuläßt, wohl aber über den Einfluß des Kontrastes , wollen wir zunächst letzteren erörtern. Die völlige Trennung des Kontrastes vom Umfeldeinfluß ist

bei der Besprechung nicht möglich, da des öfteren der Einfluß der Kontraständerung bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten wesentliche Unterschiede zeigt. Der Einfluß der Umfeldleuchtdichte soll am Schluß an Hand einer geeigneteren Darstellungsart besprochen werden.

Wie zu erwarten, sind die Kurven der Patienten mit korrigierten Ametropien (Abb.8 a + b) praktisch von denen Normaler nicht zu unterscheiden. Aber auch bei den Unkorrigierten (Abb.9) sind die Kurven etwa gleich, lediglich das Niveau ist wegen der geringeren Ausgangssehschärfe tiefer. Dieses gilt nur für Refraktionsfehler ohne Fundusveränderungen. Myope Augen haben dagegen häufig Fundusveränderungen, die das Erreichen normaler Sehschärfe trotz voller Korrektur schon bei hohem Kontrast unmöglich machen können. Wenn die Veränderungen nicht zu ausgeprägt sind, kommt es bei der klinischen Sehschärfeprüfung (entsprechend unserer Kontraststufe I) meistens noch nicht zu einer Sehschärfeherabsetzung. Es wäre aber möglich gewesen, daß in diesen Fällen bei geringen Kontrasten schon eine stärkere Herabsetzung der Sehschärfe zu bemerken wäre. Wie Kurve 8 b zeigt, ist dieses nicht der Fall.

Bei den Augen mit hoher Myopie (Abb.8 c), in unserem Krankengut ab -10,0 dptr , besteht im Mittel ein großer Abstand der Kurve gegenüber der gesunder Augen. Das ist wahrscheinlich auf die funktionsvermindernde Wirkung der Fundusveränderungen zurückzuführen. Zu beachten ist auch der Kurven v e r l a u f für diese Gruppe. Excessiv myope Augen haben keine stärkere Funktionsminderung durch die Kontrastverringerung als Normale, eher erscheint der Verlauf der Kurve etwas flacher als der der Vergleichskurve.

Die künstliche Myopisierung emmetroper Augen mit Convexgläsern wurde bei 100 asb durchgeführt. Abb.10 zeigt, daß die Höhe der Fehlkorrektur keinen wesentlichen Einfluß auf das Gefälle der Kurven hat. Man könnte höchstens bei zunehmender Fehlkorrektur eine geringe Abnahme des Gefälles zwischen der II. und III. Kontraststufe annehmen. Obwohl die Untersuchungen mit drei geübten Versuchspersonen durchgeführt wurden, könnte die Frage, ob letzteres Faktum zufällig ist oder ob ihm Bedeutung beizumessen ist, nur durch die Untersuchung einer sehr viel größeren Zahl geklärt werden.

Wesentlich flacher als die Normalkurven verlaufen die in Abb.11 gezeigten Kurven amblyoper Patienten. Die geringen Werte der mittleren quadratischen Abweichung der Einzelwerte bei 100 asb besagen, daß die Sehschärfe aller Patienten dieser Gruppe nahezu gleich war und auch ihr Verhalten während der Untersuchung nur geringe Unterschiede zeigte. Die beiden bei 1 asb untersuchten Patienten hatten gleiche Sehschärfe und unterschieden sich beim geringsten Kontrast nur um eine Stufe. Unsere Ergebnisse stimmen mit denen von G.K.VON NOORDEN und H.M.BURIAN (1958,1959) überein. Sie fanden bei vergleichenden Untersuchungen von Augen mit Schielamblyopie und Augen mit zentraler Funktionsminderung organischer Genese nur eine geringfügige Änderung der Sehschärfe bei Verringerung der Beleuchtung. Sie beschreiben sogar Fälle von gleicher oder ansteigender Sehschärfe, was bei unseren Untersuchungen nicht vorkam. Schon 1921 stellte E.AMMAN dieses auffällige Verhalten amblyoper Augen fest, als er die Sehschärfe bei durch Filter verringerten Leuchtdichten untersuchte.

Eine organische Veränderung der Stäbchen und Zapfen liegt bei der Amblyopie nicht vor, somit können wir sie

auch nicht für das unphysiologische Verhalten der Augen verantwortlich machen. Trotz eingeschränkter Sehschärfe ist das Erkennen von Leuchtdichteunterschieden nach G.WALD und H.M.BURIAN (1944) nicht beeinträchtigt. Im Gegensatz dazu besteht nach G.MACKENSEN (1959) und E.AULHORN (1967) auch für die Lichtunterschiedsempfindlichkeit bei der Amblyopie eine geringfügige Herabsetzung im Gesichtsfeldzentrum, die allerdings bei monokularer Prüfung nie die Ausmaße der Sehschärfeherabsetzung erreicht.

Eine Sehschärfeprüfung mit Verringerung des Sehzeichenkontrastes oder mit Verminderung der Umfeldleuchtdichte bei konstantem Kontrast könnte im Zweifelsfall die Frage klären, ob eine zentrale Funktionsminderung durch Amblyopie oder andere Ursachen bedingt ist.

Die in Abb.12 gezeigten Ergebnisse von Augen mit Hornhauttrübungen lassen erkennen, daß die Kontraständerung bei gleichem Umfeld gegenüber dem Normalen mäßig verstärkte Sehschärfeherabsetzung zur Folge hat. Das stimmt mit dem Verhalten von Augen mit Linsentrübungen (Abb.13) überein. Der Unterschied zur Normalkurve ist bei 100 asb gering, bei 1 asb aber merklich größer. Der Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf Augen mit Linsentrübungen läßt sich gut aus Abb.13 c erkennen, wo die bei beiden Leuchtdichten gewonnenen Kurven in ein Koordinatensystem eingezeichnet sind. Die Ursachen des Sehschärfeverlustes von Augen mit Trübungen der brechenden Medien ist in der Verschlechterung des Kontrastes des Retinabildes durch Streulicht und in der Verminderung der Leuchtdichte dieses Bildes zu suchen.

Glaukomkranke Augen mit normal weiter Pupille (Abb.14) verhalten sich bei unseren Untersuchungen ähnlich den gesunden Augen. Ihre Sehschärfe war natürlich

von vornherein geringer als die gesunder Versuchspersonen. Die geringfügigen Unterschiede im Verhalten sind nicht zu bewerten, denn wie die hohen Werte der mittleren quadratischen Abweichung zeigen, wurden Patienten mit stark unterschiedlichem klinischen Visus untersucht. Dadurch sind die geringen Unterschiede im Kurvenverlauf ausreichend erklärt. Im Gegensatz dazu zeigen die glaukomkranken Augen mit Miosis (Abb.15) bei 1 asb ein anderes Verhalten. Während bei 100 asb ihre Kurve mit der Normalkurve parallel läuft, fällt die bei dunklerem Umfeld gewonnene Kurve steiler ab. Die Sehschärfe von Glaukompatienten mit medikamentöser Miosis sinkt demnach bei dunklerem Umfeld wesentlich stärker als bei hellem Umfeld. Das stimmt mit den Erfahrungen aus der Praxis überein, wo die mit Miotika behandelten Patienten darüber klagen, daß sie vor Therapiebeginn bei geringer Helligkeit wesentlich besser gesehen hätten. Beim Vergleich glaukomatöser Augen mit und ohne Miosis kommen wir zu dem Ergebnis, daß unter den von uns gewählten Untersuchungsbedingungen die Pupillenweite weitaus mehr Einfluß auf die Sehschärfe hat als das Glaukom.

Letztere Aussage läßt sich mit dem Ergebnis erhärten, das wir aus der Betrachtung von Abb.16 gewinnen. Gesunde emmetrope Augen wurden zur Erreichung einer Miosis mit 1 - 2% Pilocarpin behandelt und ab Pupillendurchmesser 2,5 mm und geringer untersucht. Auch hier zeigt sich, daß die Kontraständerung bei 1 asb weitaus mehr Einfluß auf die Sehschärfe hat als bei 100 asb Umfeldleuchtdichte.

Um eine möglichst günstige Helligkeit des Bildes auf der Retina zu erhalten, wird die Pupillenweite reflektorisch den jeweiligen Beleuchtungsverhältnissen angepasst. Diese Möglichkeit ist bei der medikamentös verengten Pupille nicht mehr gegeben, somit ist bei ge-

ringen Leuchtdichten die Helligkeit des Retinabildes nicht den Bedingungen entsprechend optimal, weshalb die Sehschärfe gegenüber der von Augen mit normaler Pupillenreaktion vermindert ist.Schon 1876 hat H.AUBERT im Handbuch der gesamten Augenheilkunde den Satz aufgestellt: " Mit Abnahme der absoluten Helligkeit nimmt die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede ab."

Da nur wenige Autoren über den Einfluß von Leuchtdichte- und Kontraständerungen auf die Sehschärfe von Augen mit unterschiedlichen Pupillenweiten berichtet haben, aber mehrere Autoren entsprechende Untersuchungen mit Hilfe von Lochblenden durchführten, untersuchten auch wir emmetrope gesunde Augen mit vorgehaltenen Lochblenden.Die absoluten Lochgrößen entsprechen nicht gleichen Pupillenweiten, da die Blende eine andere Lage im optischen System des Auges hat.Eine systematische Verringerung der Lochgröße kann zwar nicht quantitativ aber qualitativ als Nachahmung einer zunehmenden Pupillenverengerung angesehen werden.Auf eine Umrechnung verzichteten wir, da einige Faktoren wie z.B. die Stellung im optischen System (vor der Cornea liegend) und die häufig von der optischen Achse abweichende Stellung der Öffnung einen viel zu großen Fehler bedingen würden.

Die in Abb.17 dargestellten Ergebnisse unserer Untersuchungen mit Lochblenden zeigen, daß sich die Sehschärfe hierbei entsprechend der von Augen mit Miosis verhält. S.FUJISAKI (1959) fand bei seinen Versuchen, bei denen er nur die Beleuchtung veränderte, einen deutlichen Einfluss der Beleuchtung auf die Sehschärfe von Versuchspersonen mit engen künstlichen Pupillen. T.KIKKAWA stellte 1935 die Behauptung auf, daß die Sehschärfe bei größer werdenden Lochblenden fast proportional dem Logarithmus des Flächenraumes der künstlichen

Pupille zunehme. F.W.CAMPBELL und A.H.GREGORY stellten 1960 fest, daß bei Pupillendurchmesser unter 2,0 mm ein starker Anstieg der Beleuchtung notwendig sei, um gleiche Sehschärfe zu erhalten. Auch hierbei wurden die Untersuchungen mit Lochblenden durchgeführt, nur wurden die Augen vorher mit Homatropin vorbehandelt.

In Abb.18 sind nochmals sämtliche Untersuchungsergebnisse der Patienten und gesunden Versuchspersonen in geänderter Weise aufgezeichnet. Dabei wollen wir den Einfluß des Kontrastes auf die Sehschärfe etwas übersichtlicher darstellen, um so einen besseren Vergleich zu ermöglichen. Wir verzichten auf die Angabe der gefundenen Sehschärfewerte, sondern zeichnen die Sehschärfeherabsetzung bei Kontrast II und III im Vergleich zur Sehschärfe bei Kontrast I in Stufen von 1/10 logarithmischer Dekade auf. Der besseren Übersicht wegen werden alle bei stärkstem Kontrast gefundenen Werte zeichnerisch gleich dargestellt, obwohl sie sich in den absoluten Werten erheblich unterschieden.

Wie schon vorher besprochen gelten als Maß für ein normales Verhalten die bei der Prüfung emmetroper gesunder Augen gefundenen Werte. Wir wollen uns ersparen, nochmals auf alle untersuchten Erkrankungs - gruppen einzugehen, sondern besprechen lediglich die vom Normalen abweichenden Ergebnisse.

Auch bei dieser Darstellungsart fällt auf, daß die Sehschärfe amblyoper Augen sowohl bei 100 asb als auch bei 1 asb weniger durch Kontrastveränderungen beeinflußt wird als die emmetroper gesunder Augen. Das Verhalten amblyoper Augen in alleiniger Abhängigkeit von Kontrastveränderungen ist bisher noch nicht untersucht worden. Meistens wurden die Leuchtdichte des Um-

feldes und des Sehzeichens gleichzeitig verändert, was nicht den Einfluß jedes einzelnen der funktionsmindernden Faktoren erkennen läßt. A.LINKE (1952) versucht die Steigerung der relativen Sehschärfe schielamblyoper Augen unter reduzierten Leuchtdichteverhältnissen nur mit der Störung der Augenmotilität zu erklären, wobei die Fixationsbreite in der Dunkelheit gesteigert sein soll. G.K.VON NOORDEN und H.M.BURIAN (1958) beobachteten eine Besserung der Fixation des amblyopen Auges bei Dunkeladaptation. Eine direkte Relation zwischen dem Ausmaß der Amblyopie und der Unbeständigkeit der Fixation läßt sich nicht finden (G.MACKENSEN 1957) .

Auch bei den hohen Myopien ist die Sehschärfe - herabsetzung mit 2,2 Stufen bei 100 asb in der III. Kontraststufe etwas geringer als bei emmetropen gesunden Augen (2,8 Stufen).

Die Trübungen der brechenden Medien machen sich bei dunklerem Umfeld stärker bemerkbar als bei 100 asb, was am Beispiel der Linsentrübungen zu erkennen ist. Wegen der Problematik der Unterteilung dieser Gruppe haben wir auf eine getrennte Darstellung nach dem Ausmaß der Trübungen verzichtet. Deshalb sind in ihr alle Grade von Linsentrübungen vorhanden, die überhaupt die Sehschärfe herabsetzen, also auch geringe. Dadurch erhielten wir als Mittelwert einen Unterschied von 5,5 Stufen zwischen stärkstem und schwächstem Kontrast , während die gefundenen maximalen Einzelergebnisse mit 10 Stufen Unterschied wesentlich höher sind. Darauf deutet auch in Abb.13 b die Zunahme der mittleren quadratischen Abweichung um 66% in der III. gegenüber der I.Kontraststufe.

Während die Ergebnisse glaukomatöser Augen ohne Miosis mit denen gesunder Augen übereinstimmen, zeigen

die glaukomatösen Augen mit engen Pupillen wie die emmetropen Augen mit medikamentöser Miosis einen starken Kontrasteinfluß auf die Sehschärfe bei geringer Umfeldleuchtdichte. Das glaukomkranke Auge verhält sich abgesehen von der Funktionsminderung durch die Druckschädigung bei unseren Untersuchungen wie das gesunde Auge, wogegen Augen mit engen Pupillen unabhängig von dem Bestehen eines Glaukoms eine über das normale Maß hinausgehende Sehherabsetzung in Abhängigkeit der Kontraständerung aufweisen.

Zum Vergleich haben wir auch eine Gruppe der mit Lochblenden geprüften Augen in dieser Weise dargestellt. Dabei ist zu erkennen, daß bei enger Blende bzw. enger Pupille eine starke Beeinflußung der Sehschärfe durch die Kontraständerung eintritt.

2. Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Sehschärfe

Im vorigen Abschnitt wurden unsere Untersuchungsergebnisse vorwiegend im Hinblick auf den Einfluß der Kontraständerung ausgewertet. In diesem Abschnitt soll aber unser Interesse mehr dem Einfluß der Umfeldleuchtdichteänderung auf die zentrale Funktion gelten. Hierbei können wir nur die Ergebnisse von den Versuchspersonen auswerten, die sowohl bei hellem als auch bei dunklem Umfeld geprüft wurden. Dadurch verringert sich die Zahl der auswertbaren Versuche jeder Erkrankungsgruppe erheblich. Einige Gruppen fallen sogar völlig aus, da z.B. kein an Glaukom erkranktes Auge bei beiden Umfeldleuchtdichten geprüft wurde. Die hohen Myopien sowie die Hornhauttrübungen können ebenfalls nicht besprochen werden, da aus den schon erwähnten Gründen eine Untersuchung bei 1 asb bei ihnen nicht möglich war.

In Abb.19 sind die Ergebnisse dargestellt.Für jeden der drei Kontraste wird die Sehschärfedifferenz in Stufen von 1/10 logarithmischer Dekade angegeben, wobei wir aus Gründen des besseren Vergleichs die Sehschärfe bei 100 asb unabhängig von ihrem absoluten Wert immer gleich Null setzen. Die waagerecht verlaufenen Strecken geben also die Differenz der bei beiden Umfeldern gefundenen Sehschärfen für jede der drei Kontraststufen, welche durch die Ziffern I,II und III gekennzeichnet sind, getrennt an. Die drei zusammenhängenden Strecken sind demnach nicht mit den drei zusammenstehenden Säulen in Abb.18 zu vergleichen. Damit keine Verwechslungsmöglichkeit besteht, wurde absichtlich eine von der vorhergehenden Abbildung abweichende Darstellungsart gewählt.

Bei den emmetropen gesunden Augen, von denen 11 untersucht wurden, beträgt die durch den Wechsel der Umfeldleuchtdichte bedingte Differenz je nach Kontrast 3,2; 3,3 und 4,1 Stufen. Dabei fällt auf, daß sich der Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Sehschärfe mit der Verringerung des Kontrastes vergrößert.

Die Augen mit Hyperopie c.c., von denen neun untersucht wurden, zeigen ein den gesunden emmetropen Augen entsprechendes Verhalten. Die geringen Abweichungen bis zu 0,3 Stufen können nicht berücksichtigt werden, da wir die Sehzeichen in Abständen von ganzen Stufen angeboten haben.

Die Augen mit Myopie c.c. zeigen ein etwas von den Normalwerten abweichendes Verhalten, welches in der um 0,7 Stufen geringeren Sehschärfedifferenz beim Kontrast 1:0,80 besteht. Man muß aber bedenken, daß es sich bei dieser Darstellung um Mittelwerte handelt.Hinzu kommt, daß bei dieser Gruppe nur fünf Versuchspersonen unter-

sucht werden konnten.Die genaue Analyse der Einzelwerte zeigt, daß nur bei einem Auge die Sehschärfedifferenz um zwei Stufen geringer war als beim I. Kontrast, bei zwei weiteren betrug dieser Wert nur eine Stufe wohingegen die restlichen ein typisches Verhalten zeigten.

Der Funktionsverlust bei den sieben Augen mit Hyperopie s.c. liegt bei starkem und mittlerem Kontrast merklich unter dem Normalwert,selbst bei schwachem Kontrast ist er noch um 0,5 Stufen geringer.Der Einfluß der Umfeldleuchtdichte ist aber immerhin in der dritten Kontraststufe wesentlich größer als in der ersten, wie die Werte 3,6 und 1,6 zeigen. Bei den Hyperopien c.c. betrug der Unterschied 1,0 Stufen, entsprach also dem Normalwert.

Auch die Sehschärfedifferenzen der sechs Augen mit Myopie s.c. sind geringer als die Vergleichswerte, aber der Abstand von 0,7 Stufen zwischen Kontrast I und III entspricht der Norm.

Die beiden amblyopen Augen lassen einen wesentlich geringeren Einfluß der Umfeldleuchtdichteänderung erkennen, wie schon bei der Beschreibung des Einflusses der Kontraständerung bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten betont wurde. Der Abstand von 1,5 Stufen zwischen starkem und schwachem Kontrast ist bei der geringen Anzahl der Untersuchungen und wegen der benutzten Optotypeneinteilung nicht hoch zu bewerten. Die geringen Werte der Sehschärfendifferenz sind dennoch auffallend.

Die fünf Augen mit Cataracta unterscheiden sich nur bei geringem Kontrast in ihrem Verhalten von dem emmetroper gesunder Augen, hierbei aber deutlich. Die gleiche Erscheinung kennen wir schon aus Abb.18.

Den größten Einfluß der Umfeldleuchtdichteverringerung auf die Sehschärfe finden wir bei gesunden Augen mit Miosis (Pupillenweiten unter 3,0 mm), von denen wir neun untersucht haben. Die Differenzen sind bei allen drei Kontrasten größer als bei gesunden Augen mit normal weiter Pupille. Der Unterschied zwischen den drei Kontrasten ist mit 1,4 bzw. 1,6 Stufen ebenfalls wesentlich größer.

Zur Erhärtung dieser Aussage führen wir die Ergebnisse der Prüfung gesunder Augen mit Lochblenden an, wobei wir die Blendenöffnung von 1,5 mm und 0,8 mm ausgewählt haben. Je kleiner die Öffnung desto größer ist die Sehschärfedifferenz, was sich bei geringen Kontrasten entsprechend stärker auswirkt. So beträgt der Unterschied zwischen starkem und schwachem Kontrast bei 1,5 mm Blende 2,6 und bei 0,8 mm 3,7 Stufen, wobei hier die Gruppen aus den gleichen Versuchspersonen bestehen.

3. Schlußfolgerungen

Betrachten wir zum Abschluß die Ergebnisse unserer Untersuchungen insgesamt, so fällt auf, daß sowohl die Verringerung des Kontrastes zwischen Sehzeichen und Umfeld als auch die Verringerung beider Leuchtdichten gleichzeitig Einfluß auf die Funktion der Netzhautmitte hat. Eine Änderung beider Faktoren aber übt den stärksten Einfluß aus.

Dieses Verhalten besteht bei allen Augen, gesunden wie kranken. Bei letzteren aber kann das Ausmaß der Sehschärfeherabsetzung - je nach Erkrankungsart - verschieden beeinflußt sein. Nehmen wir den Funktionsverlust gesunder Augen als Richtmaß für ein physiologisches Verhalten, so kommen beide Möglich-

keiten der Abweichung vom Normalwert - geringere oder stärkere Sehschärfeherabsetzung - vor.

Amblyope Augen reagieren auf eine Verringerung der Kontrastverhältnisse oder der Umfeldleuchtdichte mit relativ geringer Sehschärfeherabsetzung. Es wäre demnach möglich, im Zweifelsfalle zur Diagnostik einer Ambylopie die Sehschärfeprüfung bei zwei unterschiedlichen Umfeldleuchtdichten oder zwei verschiedenen Kontrasten heranzuziehen.

Von verkehrsmedizinischer Bedeutung sind die Fälle mit über der Norm liegender Funktionsminderung. So ist ein Verkehrsteilnehmer mit Linsentrübungen bei Fahrten während der Dämmerung oder in der Dunkelheit gegenüber dem Gesunden wesentlich stärker behindert als bei Tageslicht. Das beweist uns der auffallende Sehschärfeverlust bei gleichzeitiger Verringerung von Kontrast und Umfeldleuchtdichte, während dieser bei Kontraständerung auf hellerem Umfeld sich von der Norm nicht wesentlich unterscheidet.

Gleiches gilt für Augen mit Miosis, die bei der Therapie einiger Glaukomerkrankungen ein mehr oder weniger erwünschter Effekt ist. Die Medikamente be - hindern das Auge in der reflektorischen Einstellung der der Leuchtdichtesituation angepassten Pupillen - weite.Allein durch die Miosis wird die Helligkeit des Retinabildes so stark vermindert, daß bei geringen Umfeldleuchtdichten und bzw. oder schwachen Kontrasten die Sehleistung ganz erheblich herabgesetzt ist. Je geringer der Pupillendurchmesser desto stärker ist die Behinderung des Patienten.

Neben dem Vorteil dieser Untersuchungsweise, neue differentialdiagnostische Gesichtspunkte zu liefern, besteht somit noch der zweite Vorteil, daß wir

Aussagen über das Sehvermögen unter den natürlichen Bedingungen des täglichen Lebens machen können.

V. Zusammenfassung

Die klinischen Sehschärfeprüfungen werden unter für das Auge optimalen Bedingungen - hohe Leuchtdichten, starke Kontraste - durchgeführt, wie wir sie in unserer Umwelt nur selten vorfinden. Bei schwachen Kontrasten und geringen Leuchtdichten aber läßt die Sehschärfe des gesunden Auges nach. Ziel dieser Arbeit ist es zu klären, ob sich die Sehschärfe erkrankter Augen bei veränderten Kontrasten und Umfeldleuchtdichten von 100 und 1 asb unterschiedlich verhält und ob dieser Unterschied krankheitsspezifisch ist.

Unsere Patienten entnahmen wir dem Krankengut der Universitäts-Augenklinik Tübingen. Für unsere Untersuchungen kamen lediglich Augen mit nur einer einzigen Erkrankung in Frage. Das erschwerte die Auswahl der Patienten, da die Funktionsminderung meistens durch mehrere Erkrankungen des gleichen Auges bedingt war. Außerdem mußten noch andere Faktoren wie Mindestvisus und Intelligenzgrad berücksichtigt werden, wodurch die Anzahl der zur Untersuchung heranziehbaren Patienten wiederum verringert wurde.

Insgesamt wurden 325 Untersuchungen durchgeführt, davon 218 bei 100 asb und 107 bei 1 asb Umfeldleuchtdichte. Leider konnten auf Grund der langen Untersuchungsdauer nur 51 Augen bei beiden Leuchtdichten untersucht werden.

Als Sehzeichen benutzten wir Landoltringe in der Größenprogression von 1/10 logarithmischer Dekade. Die

Umfeldleuchtdichten von 100 und 1 asb wurden mittels eines Projektors erreicht, in dessen Strahlengang das Diapositiv des Sehzeichens und Neutralfilter gebracht wurden. Zur Kontraständerung benutzten wir einen weiteren Projektor, dessen Bild auf das des ersten Projektors projiziert wurde.

Alle untersuchten Augen reagierten auf die Verringerung von Kontrast oder Umfeldleuchtdichte mit Herabsetzung der Sehschärfe. Bei amblyopen Augen war diese gegenüber gesunden Augen auffallend geringer. Dagegen wurde die physiologische Sehschärfeherabsetzung von Augen mit Linsentrübungen und Augen mit engen Pupillen erheblich übertroffen. Die Miosis ahmten wir zusätzlich durch Lochblenden nach, wobei der Einfluß der Kontrast- und Umfeldänderung mit der Verkleinerung des Loches zunahm.

Zum Schluß wurde die Bedeutung einer Sehschärfeuntersuchung mit veränderlichen Umfeldleuchtdichten und veränderlichen Kontrasten besprochen.

VI.Abbildungen

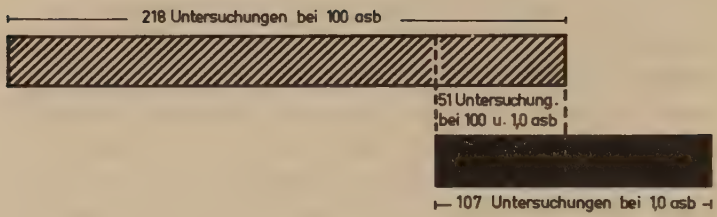

Abb.1 Verteilung der insgesamt 325 Untersuchungen auf die Umfeldleuchtdichten von 100 und 1,0 asb

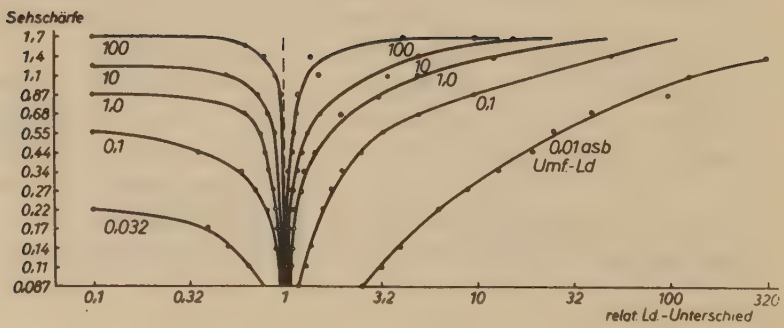

Abb.2 Sehschärfekurven bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten für Landoltringe nach E.AULHORN

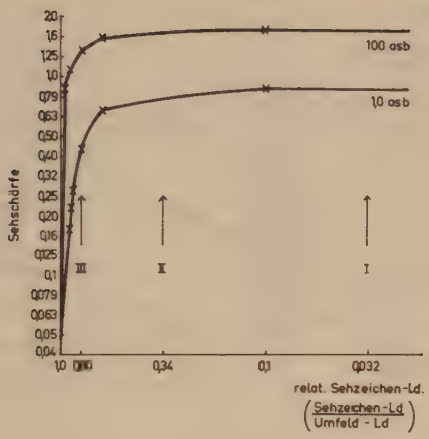

Abb.3 Sehschärfekurven bei Umfeldleuchtdichten von 100 und 1,0 asb für Landoltringe aus Abb.2 dargestellt wie in den folgenden Kurven. I,II und III zeigen die relativen SZ.-Leuchtdichten, bei denen unsere Untersuchungen durchgeführt wurden.

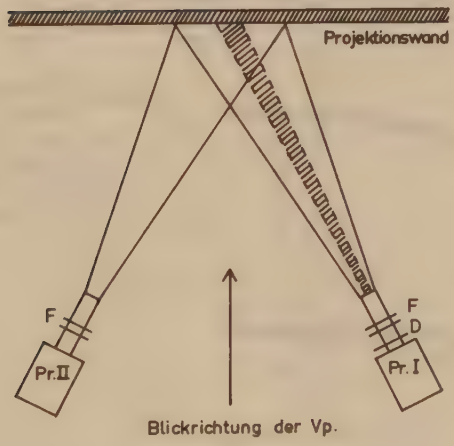

Abb.4 Versuchsordnung Pr.I:Projektor für SZ.-Diapositiv Pr.II : Projektor ohne SZ.-Diapositiv, F: vorschaltbarer Neutralfilter, D: Diapositivbühne

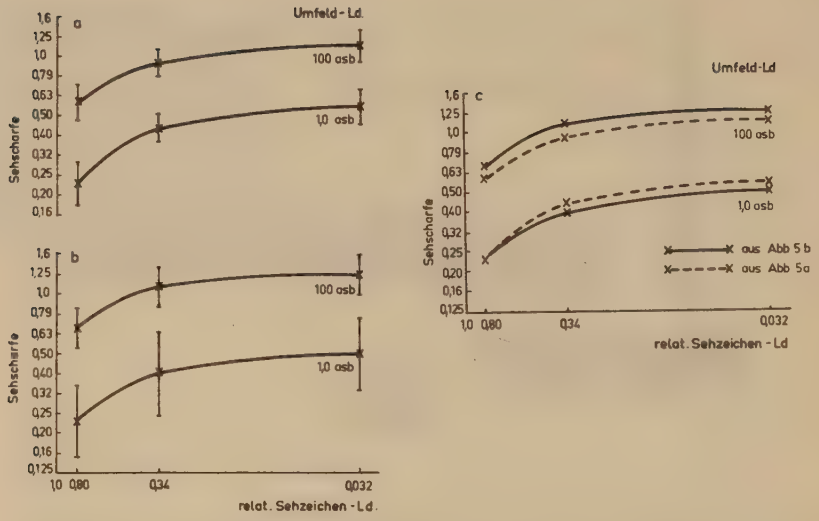

Abb.5 Sehschärfekurven emmetroper gesunder Versuchspersonen. a.11 Vp.bei beiden Umfeldern geprüft, b.11 Vp.bei 100 asb und andere 8 Vp. bei 1,0 asb geprüft, c.Vergleich der Kurven aus a und b.

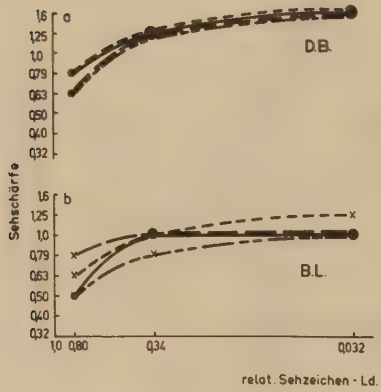

Abb.6 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

a. bestes Ergebnis
b. schlechtes Ergebnis von je vier Untersuchungen bei 2 Vpn.

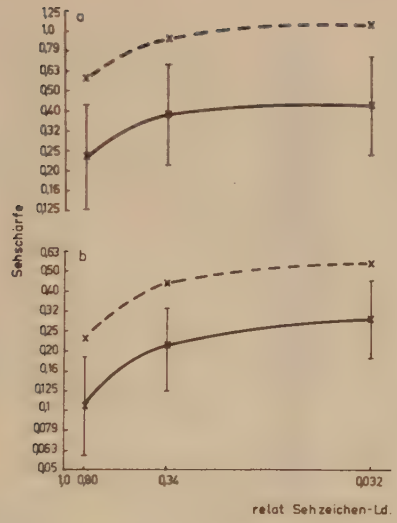

Abb.7 Sehschärfekurven aller erkrankten und ametropen Patienten.
a. bei 100 asb ,
b. bei 1,0 asb
Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb.5 a

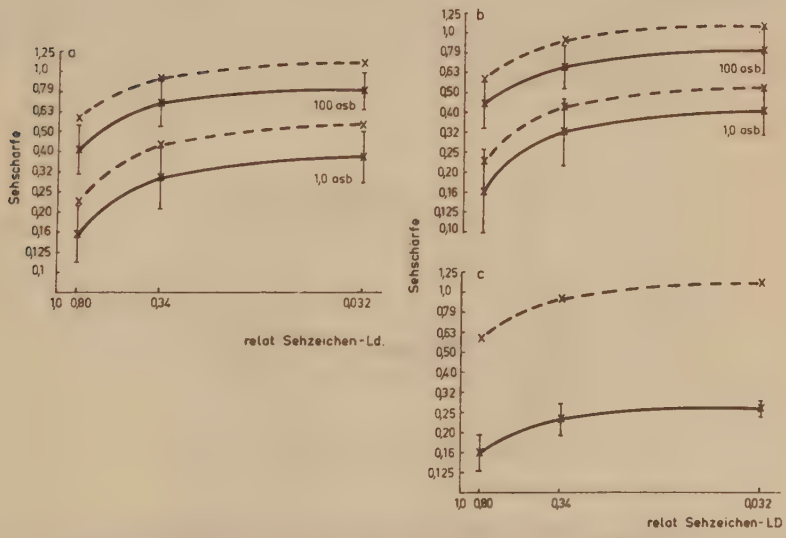

Abb.8 Sehschärfekurven von Patienten mit auskorrigierten Refraktionsfehlern. a. 14 bzw. 12 Pat. mit Hyperopien, b. 21 bzw.10 Pat. mit Myopien bis 9,75 dptr, c. 6 Pat. mit Myopien ab 10,0 dptr. bei 100 asb.
Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb. 5a

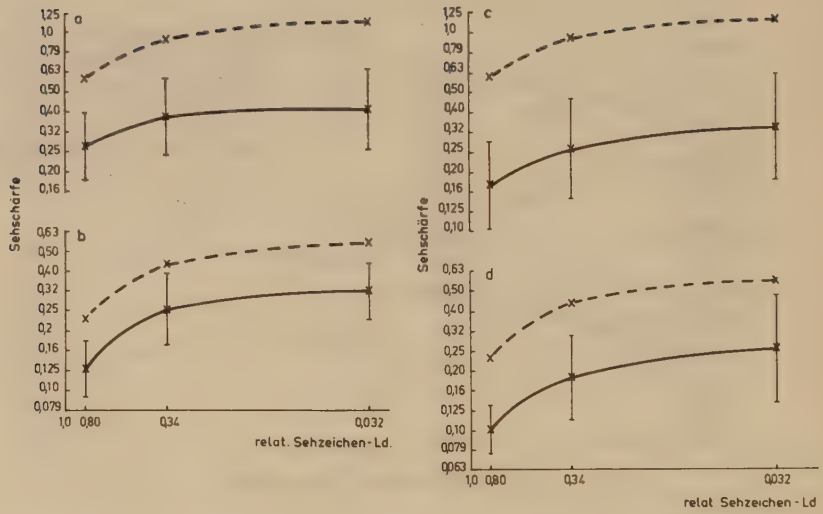

Abb.9 Sehschärfekurven von unauskorrigierten Refraktionsfehlern. a. 12 Pat. mit Hyperopien bei 100 asb, b. 7 Pat. mit Hyperopien bei 1,0 asb, c. 13 Pat. mit Myopien bei 100 asb, d. 8 Pat. mit Myopien bei 1,0 asb Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb. 5 a

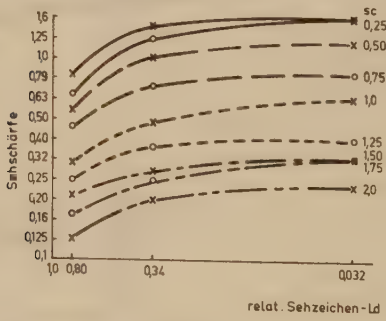

Abb.10 Sehschärfekurven von drei künstlich myopisierten emmetropen gesunden Augen bei 100 asb.
Parameter: Fehlkorrektur in dptr.

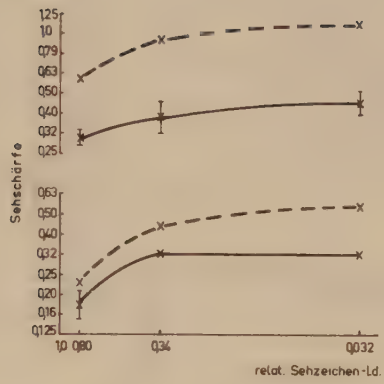

Abb.11 Sehschärfekurven fünf amblyoper Augen bei 100 asb und zwei amblyoper Augen bei 1,0 asb. Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb. 5 a

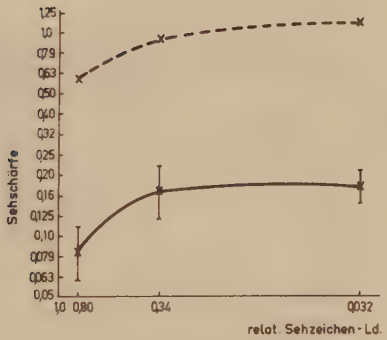

Abb.12 Sehschärfekurve von fünf Augen mit Hornhauttrübungen bei 100 asb. Gebrochene Kurve: SS-Kurve aus Abb.5 a

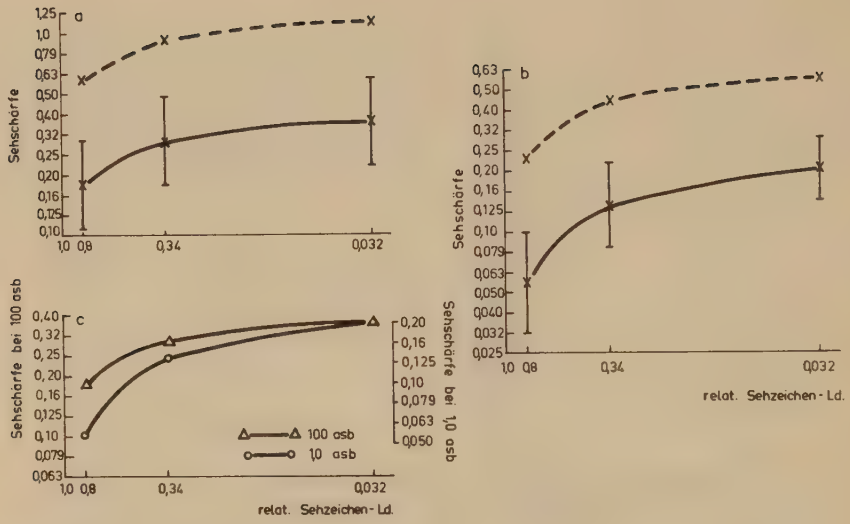

Abb.13 Sehschärfekurven von Augen mit Linsentrübungen.
a. 38 Pat. bei 100 asb, b. 17 Pat. bei 1,0 asb,
c. die Kurven a und b zum besseren Vergleich des Verlaufs aneinandergerückt.
Gebrochene Kurven in a und b : SS-Kurven aus Abb. 5 a

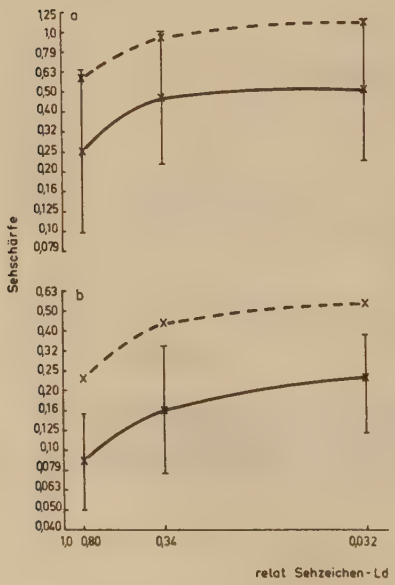

Abb.14 Sehschärfekurven glaukomatöser Augen mit normal weiter Pupille.
a. 11 Augen bei 100 asb,
b. 5 Augen bei 1,0 asb.
Gebrochene Kurven:
SS-Kurven aus Abb. 5 a

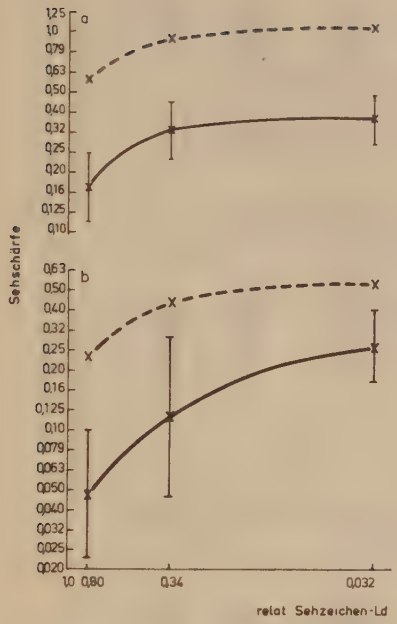

Abb.15 Sehschärfekurven glaukomatöser Augen mit Miosis(Pupillenweiten bis 2,5 mm). a.17 Augen bei 100 asb, b. 7 Augen bei 1,0 asb. Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb. 5 a.

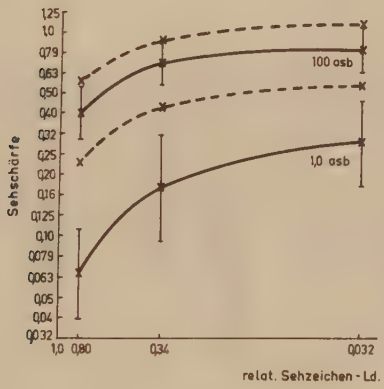

Abb.16 Sehschärfekurven von jeweils neun emmetropen gesunden Augen mit Miosis. bei 100 asb und 1,0 asb. Gebrochene Kurven: SS-Kurven aus Abb. 5 a.

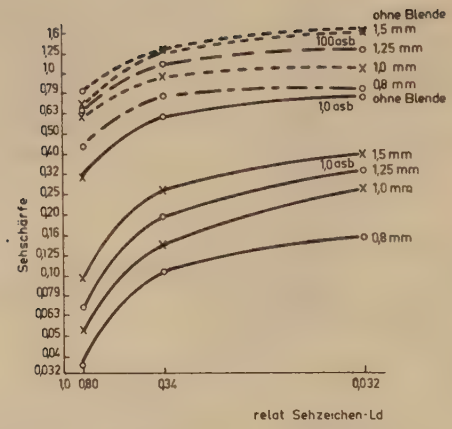

Abb.17 Sehschärfekurven von drei emmetropen gesunden Augen mit vorgesetzten Lochblenden bei 100 asb und 1,0 asb.
Parameter: Durchmesser der Lochblende in mm.

Abb.18 Sehschärfeherabsetzung in ausschließlicher Abhängigkeit vom Kontrast, getrennt nach Leuchtdichten und Erkrankungsgruppen.Weiße Säule I.Kontrast, straffierte Säule II. Kontrast, schwarze Säule III.Kontrast. Sehschärfeherabsetzung der II. und III. Kontraste ist als Differenz zum I.Kontrast in Stufen von 1/10 logarithmischer Dekade dargestellt.

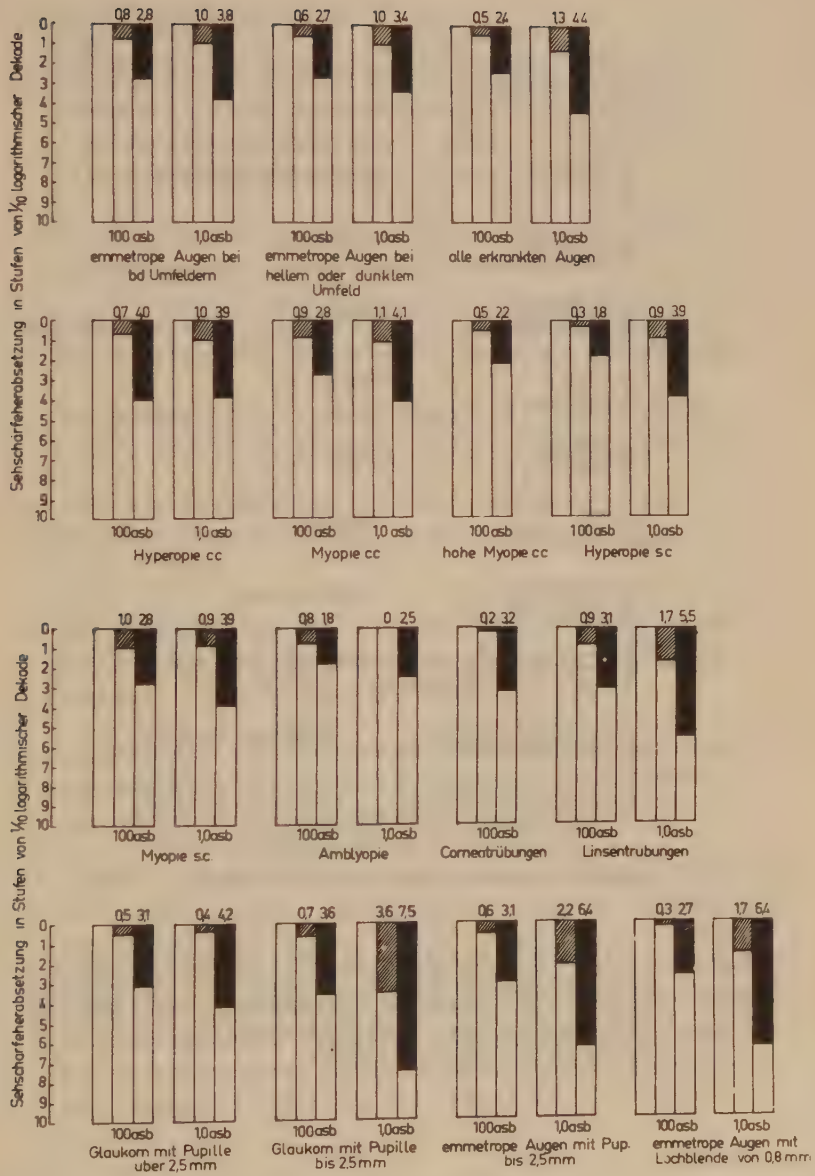

Abb.18 Legende siehe vorhergehende Seite

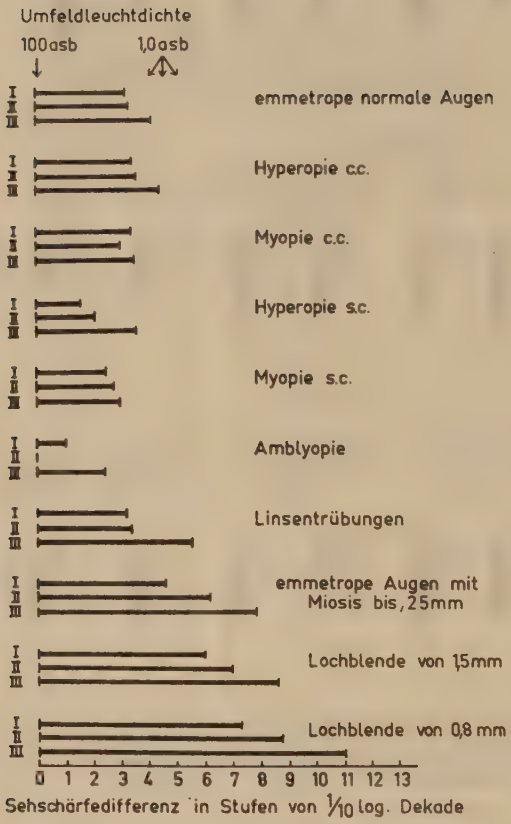

Abb.19 Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Sehschärfe getrennt nach Kontrast und Erkrankungsgruppen. Differenz der Sehschärfen bei 100 asb und bei 1,0 asb in Stufen von 1/10 logarithmischer Dekade dargestellt.

VII.Literaturverzeichnis

AMMANN,E.: Einige Beobachtungen bei den Funktionsprüfungen in der Sprechstunde: "Zentrales" Sehen - Sehen des Glaukomatösen - Sehen des Amblyopen. Klin.Monatsbl.Augenh. 66, 564-573 (1921).

AUBERT,H.: Graefe und Sämisch,Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 2.Bd.2.Theil Leipzig 1876.

AULHORN,E.: Über die Sehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung.Ber.64.Zus.kunft d.DOG Heidelberg 1961.

- Psychophysische Gesetzmäßigkeiten des normalen Sehens.Ber.66.Zus.kunft d.DOG Heidelberg 1964.

- Über die Beziehungen zwischen Lichtsinn und Sehschärfe.Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 167, 4-74 (1964).

- Die gegenseitige Beeinflussung abbildungsgleicher Netzhautstellen bei normalem und gestörtem Binokularsehen.Doc.Ophthal. 23, 26-61 (1967).

- u.H.HARMS: Das Mesoptometer, ein Gerät zur Prüfung von Dämmerungssehen und Blendungsempfindlichkeit. Ber.66.Zus.kunft d.DOG Heidelberg 1964.

- u.HARMS u.M.RAABE: Die Lichtunterschiedsempfindlichkeit als Funktion der Umfeldleuchtdichte.Doc.Ophthal. 20,537-556 (1966).

VAN BEUNINGEN,E.: Lichtsinn und Sehschärfe eines Normalsichtigen, eines Kurzsichtigen und eines Nachtblinden bei herabgesetzter Beleuchtung. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 147, 164-171 (1944).

CAMPBELL,F.W. a. A.H.GREGORY: Effect of Size of Pupil on Visual Acuity.Nature 187, 1121-23 (1960).

CONNER,J.P. a. R.E.GANOUNG: An Experimental Determination of the Visual Acuity Thresholds at low Values of Illumination.J.Opt.Soc.Amer. 25, 287-294 (1935).

DREYER,V.: On the Exactness of Visual Acuity Determination with Decimal, Snellen and Logarithmic Notation.Acta Ophthal.(Kopenhagen) 42, 295-306 (1964).

FERREE,C.F. a. G.RAND: The Effect of Increase of Intensity of Illumination on Acuity, and Intensity of Illumination of Test Charts.Amer.J.Ophthal. 6, 672-675 (1923).

FUJISAKI,S.: The Effect of Pupillary Size and Illumination on Visual Acuity.Acta Soc.Ophthal.jap. 63, 2841-66 mit engl.Zus.fass.(1959) (Japanisch).

HIRISAWA,E.: Experimentelle Studien über das gegenseitige Verhältnis zwischen der Beleuchtungsstärke und dem Helligkeitskontrast bezüglich ihres Einflusses auf die Sehschärfe.Acta Soc.Ophthal. jap. 42, 696-705 m.dtsch.Zus.fass.(1938) (Japanisch).

KIKKAWA,T.: Die Studien über den Einfluß der Pupillenweite auf die Sehschärfe.Acta Soc.Ophthal.jap.39, 1450-75 m.dtsch.Zus.fass.108-09 (1935) (Japanisch).

KÖNIG,A.: Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.S. - B.preuß.Akad.Wiss. 26, 559-572 (1897).

-, u.E.BROHUN: Experimentelle Untersuchungen über die Psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. S.- B.preuß.Akad.Wiss. 8 (1), 917-931 (1888).

- - Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. 2.Mitteilung. S.- B.preuß.Akad.Wiss. 30, 641-644 (1889).

LINKSZ,A.: Physiology of the Eye.Vision (New York), Grune & Stratton,Inc.1952 Vol.2.

MACKENSEN,G.: Das Fixationsverhalten amblyopischer Augen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 159, 200-211 (1957).

- Monokulare und binokulare statische Perimetrie zur Untersuchung der Hemmungsvorgänge beim Schielen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 160, 573-587 (1959).

VON NOORDEN,G.K. a. H.M.BURIAN: An Electro-Ophthalmografic Study of the Behavior of the Fixation of Amblyopic Eyes in Light- and Dark-Adapted State: A.Preleminary Report.Am.J.Ophthal. 46, 68-77 (1958).

- - Visual Acuity in Normal and Amblyopic Patients under Reduced Illumination: I.Behavior of Visual Acuity with and without Neutral Density Filter. A.M.A.Ophthal. 63, 533-535 (1959).

- - Visual Acuity in Normal and Amblyopic Patients under Reduced Illumination: II.The visual Acuity at Various Levels of Illumination. A.M.A. Arch.Ophthal. 62, 396-399 (1959).

ROELOFS,C.O. u.L.BIERENS DE HAAN: Über den Einfluß von Beleuchtung und Kontrast auf die Sehschärfe. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 107, 151-189 (1923).

SCHOBER,H.: Das Sehen.Leipzig 1957.

SIEDENTOPF,H.: Über Sichtbarkeitsgrenzen (Sehschärfe und Kontrastschwelle).Forsch.u.Fortschr. 17, 153-155 (1941).

TONNER,FR.: Die Messung der Empfindungsfläche und Sehschärfe unter variablen Bedingungen im gleichen Versuch.Pflügers Arch.ges.Physiol. 247, 149-159 (1943).

WALD,G. a. H.M.BURIAN: The Discussion of Form, Vision and Light Perception in Strabismic Amblyopia. A.J.Ophthal. 27, 950-963 (1944).

Mein Dank gilt Herrn Professor H.Harms, dem Direktor der Universitäts-Augenklinik Tübingen, für die Möglichkeit, die vorliegende Dissertation in seiner Klinik anzufertigen.

Ganz besonders möchte ich meiner Doktor-Mutter, Frau Professor Elfriede Aulhorn, für die Überlassung des Themas sowie für ihren Rat und ihre große Hilfe bei der Durchführung und Niederschrift dieser Arbeit danken.

LEBENSLAUF

Am 16.November 1940 wurde ich, Hans Dieter Burkhard, in Friedrichshafen als Sohn des Dr.med.Wilhelm Burkhard und seiner Ehefrau Dr.med.Maria Burkhard geb.Rust geboren.
Von 1947 - 1951 besuchte ich die Volksschule und von 1951 - 1953 die Realschule in Dinklage. Im Jahre 1953 wechselte ich auf das Gymnasium in Vechta, wo ich am 17.Februar 1960 die Reifeprüfung bestand.
Im Sommer 1960 begann ich mit dem Studium der Medizin in Tübingen, legte dort nach zwei Semestern die naturwissenschaftliche Vorprüfung, nach fünf Semestern die ärztliche Vorprüfung und nach elf Semestern am 27.Januar 1966 das medizinische Staatsexamen ab.
Als Medizinalassistent war ich anfänglich in der Allgemeinpraxis meines Vaters, danach in der Universitäts-Augenklinik Tübingen und später in den Städtischen Krankenanstalten in Braunschweig tätig.Am 31.Januar 1968 erhielt ich die Bestallung als Arzt.
Nach anschliessendem 18 monatigem Wehrdienst bei der Bundeswehr bin ich seit 1.November 1969 als wissenschaftlicher Angestellter in der Universitäts-Augenklinik - Tübingen tätig.